

学校编号: 10384

分类号: _____

密级: _____

学 号: 9925008

UDC: _____

厦门大学理学硕士学位论文

导电聚合物纳米管和同轴 纳米线的模板法合成及性能

郑志新

指导教师 林 仲 华 教授
厦 门 大 学 化学系

申请学位级别	硕 士	专业名称	物理化学
论文提交日期	2002.5	论文答辩日期	2002.6
学位授予单位	厦门大学		
答辩委员会主席	杨 勇	教 授	
论文评阅人	杨 勇	教 授	
	辜 志 俊	副研究员	

2002 年 5 月

**TEMPLATE SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF
CONDUCTING POLYMER NANOTUBULES AND
COAXIAL NANOWIRES**

A Dissertation Submitted for the Degree of Master of Science

By

Zhi-Xin ZHENG

This work was carried out under the supervision of

Professor Zhong-Hua LIN

At

Department of Chemistry, Xiamen University

May 2002

目录

导电聚合物纳米管和同轴纳米线的模板法合成及性能

Template Synthesis and Characterization of Conducting Polymer Nanotubules and Coaxial Nanowires

中文摘要.....	I
英文摘要.....	IV
第一章 绪论.....	1
§ 1-1 纳米科技的发展现状.....	1
§ 1-2 纳米科技的发展前景.....	5
§ 1-3 模板法合成纳米尺度导电聚合物.....	9
§ 1-4 本论文的设想与目的.....	14
参考文献	16
第二章 实验.....	18
§ 2-1 试剂.....	18
§ 2-2 电极.....	19
§ 2-3 实验条件.....	20
§ 2-4 实验仪器.....	20
第三章 阳极氧化铝模板的制备和表征.....	23
§ 3-1 引言.....	24
§ 3-2 阳极氧化铝模板的制备.....	25
§ 3-3 阳极氧化铝膜的形成机理.....	27
§ 3-4 阳极氧化铝模板的形貌表征.....	29
本章小结	31
参考文献	32

本章图表	34
第四章 导电聚合物纳米管和纳米线的模板法合成及性能.....	41
§ 4-1 引言.....	42
§ 4-2 聚苯胺纳米管及阵列的模板法制备和性能表征.....	46
§ 4-2-1 聚苯胺纳米管及阵列的模板法制备.....	46
§ 4-2-2 聚苯胺纳米管及阵列的形貌表征.....	47
§ 4-2-3 聚苯胺纳米管生长机制.....	48
§ 4-2-4 聚苯胺纳米管及阵列的电子传递性研究.....	49
§ 4-3 ZnO 纳米线及 ZnO-PANI 同轴纳米线的制备和性能表征.....	49
§ 4-3-1 ZnO 纳米线的制备和形貌表征.....	50
§ 4-3-2 ZnO-PANI 同轴纳米线的模板法制备.....	50
§ 4-3-3 ZnO-PANI 同轴纳米线的形貌表征.....	51
§ 4-3-4 ZnO-PANI 同轴纳米线及其阵列发光性质的研究.....	51
本章小结	54
参考文献	55
本章图表	56
第五章 导电聚合物-半导体纳米复合膜的制备和研究.....	65
§ 5-1 引言.....	66
§ 5-2 Au/PATP 基底上 PANI-ZnO 复合膜的制备及性能表征.....	69
§ 5-3 不同基底上 CdS 纳米结构的制备和表征.....	81
本章小结	88
参考文献	91
本章图表	95
作者攻读硕士学位期间发表的论文	116
致谢	119

摘要

导电聚合物纳米管和同轴 纳米线的模板法合成及性能

人们希望从上个世纪九十年代蓬勃发展起来的纳米科技能够在不久的将来彻底改变我们的生活。如今,化学家、物理学家、生物学家和工程师们正携手合作,推动着纳米科技飞速发展。纳米电子学是纳米科技中一个十分活跃的领域,它的发展将很快对我们的日常生活产生影响。纳米电子学的基础是纳米器件,尤其是纳米电子集成电路。采用什么新材料、新技术和新工艺,利用载流子的何种量子特性,来构成纳米电子器件和纳米电子集成列阵,均在探索之中。碳纳米管是良导体,可以利用作纳米导线和纳米电路板。可是作导电纳米线的选择不单是碳纳米管,采用导电聚合物作为微结构和纳米结构的电接触也是一种有希望的选择。

本文以阳极氧化铝膜为模板合成了聚苯胺纳米管、 ZnO -聚苯胺同轴纳米线以及它们的列阵。利用扫描电子显微镜、透射电子显微镜、原子力显微镜对它们的形貌进行了表征,研究了它们的发光光谱,并初步探讨了其可能的应用。本文联用自组装,电化学和溶胶凝胶法在 Au/PATP 基底上制备了 ZnO-PANI 复合膜、 CdS-PANI 复合膜和 CdS 纳米晶膜。并对其形貌、结构和性能进行了表征。主要研究结果如下:

一、“两步”法制备阳极氧化铝模板

1. “两步”法是一种切实可行的方法。通过“两步”法制备的模板孔洞大小比较均匀、孔洞的排布有序性较好、孔洞在膜中保持了线性结构。
2. 在本文所控制实验条件下,以硫酸、草酸和磷酸作为电解质溶液阳极氧化得到的阳极氧化铝模板的孔径大小分别为: 20nm 、 60nm 和 100nm 。制备得到的模板孔洞大小分布都比较均匀,在一定范围内孔洞呈现有序排列的蜂窝形状。特别是以磷酸作为电解质溶液阳极氧化得到的氧化铝模板的孔洞具有十分清楚

的六边形结构, 接近理想状态。

二、导电聚合物纳米管和同轴纳米线的模板法合成及表征

1. 以 AAO 为模板, 利用循环伏安法制备的 PANI 纳米管外径小于 30nm, 内径小于 10nm, 表明在苯胺电聚合过程中, PANI 虽然纵向生长但并不沿着模板孔洞的内壁进行聚合生长。PANI 纳米管阵列具有较好的电子传输性能。
2. 以 PANI 纳米管阵列为基体, 利用 ZnO 溶胶制得的 ZnO-PANI 同轴纳米线直径约 60nm, 和 AAO 模板孔径相符, 表明 ZnO 胶粒可能同时填充到 PANI 纳米管与 AAO 孔壁之间的间隙以及 PANI 纳米管内。
3. AAO 模板中的 ZnO-PANI 同轴纳米线阵列的发光光谱表现出一个宽的覆盖紫外和可见光区的发射谱带。由于 PANI 的作用, AAO 模板中的 ZnO-PANI 同轴纳米线阵列的发光光谱与 ZnO 纳米线阵列的发光光谱相比, 谱带的峰位从 440nm 兰移到 400nm, 发光强度显著增强 (约 100 倍)。
4. 吸附在表面的 OH^- 离子也会使该 ZnO 可见光谱带兰移, 因此在 0.5mol/L NaOH 溶液中 ZnO-PANI 同轴纳米线的可见光区发射谱带从 440nm 兰移到 390nm。

三、利用电化学组装-溶胶凝胶法技术制备 ZnO-PANI 复合膜:

1. TEM 图表明新鲜制备的 ZnO 溶胶中胶粒呈球形, 粒度分布均匀, 平均尺寸大约 3nm, 无明显的团聚现象。陈化 30 天后的 ZnO 胶粒尺寸大约 7nm, 有些微粒发生团聚。X-射线衍射图表明制备的 ZnO 为六方纤锌矿晶型, 而且晶型较好。
2. SEM 表明金膜上和 PANI 膜上的 ZnO 微粒膜具有相似的均匀、多孔的纳米结构。由于 PANI 的孔洞结构, 使得其上的 ZnO 微粒的聚集体尺寸(~10nm)比在金上的 ZnO 微粒的聚集体尺寸(~15nm)小。
4. 紫外-可见吸收光谱表明 ZnO 溶胶的性质在膜的制备过程保持得较好, 但 ZnO 粒径有不同程度的增大, 表现为吸收谱带红移。ZnO-PANI 复合膜由于 PANI 的存在, 红移较小, 强度较强, 而且在 380~500nm 和 550~800nm 范围各有一微弱吸收峰。
5. Zn^{2+} 离子和 PANI 中-NH 基团的化学相互作用导致红外漫反射光谱的 C-N 特征

谱带相对 PANI 有不同程度的偏移。

6. 由于 ZnO-PANI 复合膜中的 ZnO 微粒尺寸较小和出现新的表面态, 造成其可见发光光谱相对 ZnO 微粒膜蓝移 25nm。由于 PANI 的存在使得 ZnO-PANI 复合膜的可见发光光谱较单纯 ZnO 微粒膜有所增强。陈化后 ZnO 胶体制备的复合膜的可见发光光谱带略有红移, 且强度略有减小。表面 Zn^{2+} 离子富余时, 在波长 520nm 附近出现较强的可见发光光谱带, 在波长 380nm 附近出现一较弱的激子发光光谱带。而随着 OH^- 离子的增多, 激子发光光谱带逐渐增强, 可见发光光谱带减弱。
7. 光照下 ZnO-PANI 复合膜的电流-电位特性曲线既出现阳极光电流又出现阴极光电流, 表明了膜中 ZnO 微粒具有光电化学纳米效应。ZnO-PANI 复合膜的阳极光电流谱在 755nm~380nm 和 365nm~300nm 范围分别出现 PANI 物种和 ZnO 微粒的光电流谱带, 从 ZnO 微粒光电流谱带的阈值能得到部分氧化态 PANI 膜上的 ZnO 微粒的禁带宽度为 3.4eV。利用 ZnO-PANI 复合膜为光阳极组成光化学电池的能量转换效率可达 1.2%。解释了 ZnO-PANI 复合膜的光电化学过程。
8. 利用 ZnO-PANI 复合膜能够有效地光降解甲基橙染料。

四、利用电化学组装-电沉积法联用技术制备 CdS-PANI 复合膜:

1. AFM 实验表明利用电流脉冲法制备的 CdS 微粒膜比利用恒电流阴极还原法制备的 CdS 微粒膜薄, 晶粒堆积尺寸较小。X 射线衍射图表明利用电流脉冲法电沉积在 PATP/ITO 基体上 CdS-PANI 复合膜和直接在 ITO 上电沉积的 CdS 微粒膜具有相似结构— α -CdS 六方纤锌矿晶型的多晶结构。
2. 利用电流脉冲法在 PATP 自组装单分子层上制备的 CdS 纳米晶由于 PATP 自组装单层的作用而呈高度有序取向的棒状排列, 其形貌结构与脉冲宽度和脉冲数有关。X 射线衍射图表明, CdS 纳米晶沿着垂直基体的 c 轴方向择优生长, 晶型为六方纤锌矿。

关键词: 阳极氧化铝, 模板法合成, 聚苯胺, 纳米管, 同轴纳米线,
纳米氧化锌, 纳米硫化镉, 复合膜

Abstract

Template Synthesis and Characterization of Conducting Polymer Nanotubules and Coaxial Nanowires

We hope that Nanotechnology, which interested people around the world, can change our life in the coming future. Now, Chemists, Physicians, Biologist and Engineers are joining together and expanding our knowledge of it.

Nanoelectronics is one of most important fields in Nanotechnology. Soon it will influence our life a lot. To develop nanoelectronics, we must learn more about nanodevices, especially Nano Integrated Circuit. It is hard to work out what is the most suitable material for constructing nanoelectronics. Carbon nanotubule (CNT) can be used as nanowire, so it may be one of them. But conducting polymer Nanotubule or nanowire also is one potential candidate.

In this paper, Polyaniline (PANI) nanotubules, PANI-ZnO coaxial nanowires and their array were synthesized using Anodic Aluminum Oxide (AAO) membrane as template. The morphology of them was characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM), Transmitting Electron Microscopy (TEM) and Atomic Force Microscopy (AFM). The photoluminescence spectra also were studied and the applications of them were explored. As the second part of this paper, ZnO-PANI, CdS-PANI composite films and CdS nanocrystal film on Au/PATP substrate were prepared using combined self-assembly, electrodeposition and sol-gel technique. Experiments on their morphology, structure and characterization were carried out.

The main results may be listed as below:

1. Preparation of Anodic Aluminum Oxide membrane using “Two Steps” method:

- (1) “Two Steps” method is a very good method to prepare Anodic Aluminum Oxide membrane in good condition.
- (2) The AAO prepared by “Two Steps” method has unique properties characterized by its honeycomb structure and ordered pores with a line feature, and it has an excellent uniformity in diameter and space of holes.

2. The PANI nanotubes, ZnO nanowires, ZnO-PANI coaxial nanowires and their arrays were synthesized using Anodic Aluminum Oxide (AAO) as template:

- (1) The outer diameter of the PANI nano-tube is less than 30nm and the inner diameter is less than 10nm. During the polymerization of aniline, the PANI nano-tubes do not grow against the walls of pores in the AAO membrane though it grows along the longitudinal direction. The PANI nano-tubes array is good at electron transfer. The diameter of ZnO-PANI coaxial nanowire is about 60nm. ZnO colloidal particles maybe be filled in the PANI nano-tubes and between PANI nano-tubes and the walls of pores in the AAO membrane.
- (2) The photoluminescence spectrum of ZnO-PANI coaxial nanowires array in AAO membrane displays a broad UV and visible band. The presence of PANI can make the photoluminescence intensity substantially enhanced and the presence of both PANI and OH^- can make the spectrum shift blue.

3. The ZnO-PANI composite film was prepared by the combined self-assembly, electrodeposition and sol-gel technique:

- (1) The preparing conditions influence the size, light absorption and photoluminescence of ZnO colloidal particles.
- (2) The structure and topography of ZnO nanoparticle film on the PANI film is similar to that of ZnO nanoparticle film on Au, which has the nano-structure of homogenous, compact and porous. The porous structure of PANI can suppress the aggregation of ZnO colloidal particles. The ZnO particles with about 10nm size

Abstract

have a crystal structure of hexagonal wurtzite phase.

- (3) The band shift of C-N in the IR spectra when compared with the spectra of bare PANI film shows the chemical interaction between -NH groups of the PANI and Zn^{2+} ions.
- (4) The minor size of ZnO nanoparticles and the new surface states result in the blue shift of band position in the photoluminescence spectra of ZnO-PANI composite film. The photoluminescence intensity of ZnO-PANI composite film is more intensive than that of ZnO film.
- (5) ZnO nanoparticles in the ZnO-PANI composite can produce photoelectrochemical nanometer effect. There are two bands in the anodic photocurrent spectra of the ZnO-PANI composite film, which can be ascribed to the photocurrent band of the PANI and ZnO nanoparticles, respectively. The photoelectrochemical process of ZnO-PANI composite film was interpreted.
- (6) The ZnO-PANI composite film can well photodegrade methyl orange.

4. The CdS film was prepared by the combined self-assembly and electrodeposition technique:

- (1) The AFM results show that CdS nanoparticle film prepared by current impulse method has thinner thickness and minor packing size when it is compared with CdS film prepared by constant current deposition.
- (2) CdS nanorod film on PATP monolayer prepared by current impulse method shows a highly oriented array. CdS nanorod film on PATP has a single crystal wurtzite structure of α -CdS hexagonal phase and it also has a c-axis orientation.

Keywords: Anodic Aluminum Oxide, Template Synthesis, Polyaniline, Nanotubule, Coaxial Nanowire, ZnO nanoparticle, CdS nanoparticle, Composite Film.

第一章

绪 论

§ 1—1 纳米科技的发展现状

1959 年,著名物理学家、诺贝尔奖获得者理查德·费曼在一次著名的讲演中提到:“我想要谈的是关于操纵和控制原子尺度上的物质的问题我已经说明这方面确有发展潜力——我们可以采用切实可行的方式进一步缩小器件的尺寸。现在我想说明的是这一发展潜力还非常之大。我不打算讨论我们将如何做到这一点,而只想谈谈原则上我们能做些什么现在我们还没有走到这一步仅仅是因为我们没有在这方面花足够的时间和精力。”

80 年代初发明了纳米科技研究的重要仪器——扫描隧道显微镜 (STM, 1981)、原子力显微镜 (AFM, 1986) 等微观表征和原子操纵、加工技术,它们对纳米科技的建立起到了积极的促进作用。1990 年 7 月,第一届国际纳米科学技术会议与第五届国际扫描隧道显微学会议同时在美国巴尔的摩举办,《纳米技术》与《纳米生物学》这两种国际性专业期刊也相继问世。一门崭新的科学技术——纳米科技从此得到科技界的广泛关注并标志着纳米科技的诞生。

“纳米”是英文 nanometer 的译名,是一种度量单位,1 纳米为百万

分之一毫米，即 1 毫微米，也就是十亿分之一米，约相当于 45 个原子串起来那么长。各国对纳米技术的定义略有不同。这里提到的纳米科学与技术是指在纳米尺度上研究物质微粒（包括原子、分子）呈现的新的物理、化学、机械与生物性能、现象与过程以及利用这些特征的多学科的科学和技术。纳米科技的最终目的就是直接利用原子、分子及物质在纳米尺度上表现出的新颖的物理、化学和生物学特征制造出具有特定功能的产品。

当物质颗粒小到纳米程度时，虽然其成分没有改变，但是它的物理性能却起了飞跃性的变化。纳米材料晶粒的细化，使晶粒表面电子结构和晶体结构都发生了变异，产生了较常规物质微粒所不具备的表面效应、小尺寸效应、量子效应和宏观量子隧道效应。它导致了材料的力学性能、磁性、介电性、超导性、光学性和热力学性能的一系列改变，因而纳米材料具有广泛的实用性。纳米科学将广泛应用于计算机、电子、通讯、广播、电视、军事、化工、医疗、建筑、环保等领域与行业，许多用途还有待于开发，其未来的应用将涉及人类生活的各个领域。

纳米科技，作为一门极有前途的新兴科学，它已经使人类认识和改造物质世界的手段和能力提高到原子和分子的水平。科学家预言，纳米时代的不久就会到来。纳米科技现在已经产生了纳米材料学、纳米机械学、纳米电子学、纳米生物学、纳米化学等学科。从微米科技到纳米科技，人类正越来越向微观世界深入，人们认识、改造微观世界的水平提高到前所未有的高度。纳米技术将会迅速导致改变物质产品的生产方式的飞跃，导致重大的社会变革。因而，专家们预测纳米科技将对人类产生深远的影响，甚至可能改变人们的思维方式和生活方式，可能成为下一个技术革命时代的核心。

目前，以美国、日本、德国、英国、法国等发达国家为主导掀起了纳米技术研究热潮。这些国家纷纷成立了众多研究机构并制订了近期、远期

研究计划。各国的发展水平和研究重点也存在着差异。美国在合成、化学以及生物学方面处于领先，日本在纳米器件和复合纳米结构方面有优势，在分子电子技术方面也有强大的实力，德国在纳米材料、纳米测量技术、超精度加工与开发领域具有优势。其他一些国家，诸如中国、澳大利亚、加拿大、朝鲜、新加坡、台湾等地也相继开创了各种活动，给予了极大关注，使国际上对纳米科技的兴趣变得尤为显著。

美国一直走在纳米科学技术研究的前列，从 1991 年开始，就把纳米技术列为政府关键技术。国家科学基金会在纳米技术领域的活动包括由先进材料和工艺计划支持的研究；为更高速创造纳米粒子而进行新概念和基础研究的超微细粒子工程计划；国家纳米制造用户网；纳米科学和工程仪器开发，以改进分子、簇、纳米粒子和纳米结构材料的原子级测量。美国各公共和私人资助机构，化学、计算机、制药及其它领域的大公司以及中小企业都对纳米技术的基础研究计划提供资助。许多大型跨国公司、小企业和财团都在从事与纳米技术相关的研究开发活动。道氏化学、杜邦、柯达、惠普、休斯电子、朗讯科技、摩托罗拉、德州仪器、施乐等都在长期研究实验室建立了专门研究团体。在过去几年里，美国的许多大学建立了一系列纳米技术跨学科研究中心，使这一领域的公共研究与教育基础设施不断扩大。目前美国对纳米技术的兴趣甚广，并且一般散布到小团体中。最受重视的研究课题有：具有工程性能的金属；聚合物大分子的分子操纵；软纳米结构的化学自组装技术；纳米结构涂料的热喷工艺和以化学为基础的技术；电子产品和传感器的纳米制作；用于与能量相关工艺的纳米结构材料，如催化剂、软磁体；纳米机加工；航天器系统的小型化。另外，正在进行用于生化的神经通信与芯片技术研究；开发了计量学在纳米结构的热力学性能、磁性、微磁模拟以及热动力学方面的应用；原子级的模拟已被确立为一种计算工具；建造了纳米探针，用于以纳米级精度和皮秒时间

分辨率研究材料结构和器件。尽管在受控条件下由原子和分子构建纳米结构是最有希望的方法,但是材料结构重组和尺寸缩减法仍将继续存在。探索性的研究包括量子操纵和原子控制手段,等级结构材料的计算机设计、人造结构分子,有机与无机纳米结构的结合、生物拟态、纳米级机器人学、生物结构对信息的编码与应用、DNA 计算、相互作用的组织以及化学与生物试剂探测器。在商业上可行的技术在美国已被应用于陶瓷、金属和聚合物的纳米粒子、纳米结构合金、着色剂和化妆品、电子元件等。从科学发现到技术应用的时间间隔长短悬殊。目前纳米技术在其它方面的应用有硬涂料、化学和生物探测器、通过纳米粒子进行的药物传送系统、电子工业中利用纳米粒子浆进行的化学-机械抛光以及先进的激光技术。有几种纳米粒子合成工艺几十年前就奠定了其科学基础,但大部分工艺的科学基础还正在研究。

除了美国之外,日本、德国、法国、英国等国家也加大了对纳米科技的投入力度。他们纷纷抛出一系列雄心勃勃的计划,准备在未来的 10 年、20 年内在纳米科技方面争得一席之地。而在我国,自 80 年代中期以来,纳米科学和纳米技术越来越受到重视。约 3000 名研究人员正致力于这一领域的研究工作。为期十年的“纳米科学攀登计划”(1990—1999)和一系列先进材料的研究计划是核心活动。中国科学院资助相对较大的研究团体,而中国国家自然科学基金会主要为个人研究计划提供支持。有实力的领域是纳米探针和运用纳米管的生产工艺的开发。中国物理学会和中国粒子学会致力于纳米技术传播。就纳米研究水平而言,相比之下,我们与国际水平还有一定的差距,但在纳米材料的制备方面可以说是与国际同步。近年来,我国科学家在纳米科技领域屡创佳绩,一系列重要的论文发表在世界权威科学刊物或者相关国际会议上,中国人在纳米领域的突出成就让世界为之瞩目。

§ 1—2 纳米科技的发展前景

目前在与纳米科技有关的诸多研究领域，比较热门并且有可能率先取得实际应用的有：纳米制造方法的研究；纳米电子器件的构建；纳米医学。

§ 1—2—1 纳米制造方法的研究

研究人员正在致力于开发和设计多种新颖的，具有创新精神的纳米制造方法来建造小于 100nm 的复杂体系。下面概述了其中四种方法的优缺点：

	优点	缺点
光刻法	对这一方法十分熟悉，因为目前微芯片的生产用的就是这种方法。厂商对这种方法加以改进后，可以用电子束、X 射线或远紫外光来制作纳米尺度的结构。	改进工序和流程的费用十分昂贵，技术上难度也很大。利用电子束来制作纳米结构既贵又慢。而 X 射线和远紫外光则可能损坏制造过程中使用的设备。
扫描探针法	显微镜和原子力显微镜可以用来移动单个的纳米微粒，使其排布成一定的模式。这些仪器可以制造出只有一个原子宽的环和导线。	速度太慢，不适合批量生产。扫描隧道显微镜和原子力显微镜的用途可能仅限于制作一些专门的器件。能够任意的在一个事先准备好的表面移动一个原子的能力并不会

		直接获得任意建造复杂的分子组装物的本领。
软印刷法	使研究人员可以廉价复制用电子束隐身法或其它相关制作出的图案。软印刷术不需要任何专门设备，可以用手工在一般的实验室中进行。	该方法不适于制造电子器件的多层结构。研究人员正在努力克服这个问题，但这些努力能否奏效尚需拭目以待。
自下到而法 (Bottom Up)	研究人员安排一些受到仔细调控的化学反应，可以廉价而简便地把原子和分子组装成最小地纳米结构，其尺寸在 2 到 10nm 之间。	由于这些方法当前尚不能制作设计出的互联图案，它们还不适用于制造微芯片之类的电子器件。

人们对纳米结构的兴趣是如此之大，以致每一种可能的制造方法目前都在接受研究人员的考察。现在这些研究工作大部分是由物理学家和化学家承担的，但生物学家或许也能作出重要的贡献。

纳米技术的发展将取决于纳米结构的获得状况。STM 与 AFM 的发明为观察、表征和操纵这些结构提供了新的工具，现在的问题在于如何定制这些结构以使其具有有用的新功能。纳米结构在电子技术中的应用非常重要，这已经使得人们把注意力都集中到了可能被纳入未来集成电路中的纳米器件上。

纳米制造的新构想不同于传统概念，这只是因为它们并非来源于人们为电子器件开发的微电子制造技术。化学家、物理学家和生物学家正在迅速地认识到，这些新构想是建造用于研究地各类纳米结构地最佳方法。而且这些方法甚至也可能作为常规方法——光刻术、电子束刻印术及其他相关技术——的补充而用于电子行业中。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库